8.5 ROテストプラント試験

1．目的

本研究は、前処理油汚染海水中の溶解性油分の市販の８インチSWRO膜モジュールに対する影響を評価するのが目的である。この実験では膜の性能（流束および脱塩率）を油分除去装置からの前処理海水を原海水と混合し、その混合水をROテストプラントの大型濾過装置で凝集濾過して、117時間追跡した。

2．実験

市販の８インチSWRO膜モジュールの性能（流束および脱塩率）を、油汚染海水を原海水と１：2.5の割合で混合した後、それをROテストプラントの前処理装置に通水して運転した。供給水流量は3.5m^3/hr、圧力は56kg/cm^{2}に維持した。SDIは３に、pHは6.5に維持した。供給水、ブライン、透過水中の油分濃度は蛍光光度計を用いて測定した。

3．結果

約117時間実施した市販の８インチSWRO膜モジュールの性能評価（脱塩率および透過水流量）の結果をFig.12およびFig.13に示す。Fig.14は試験装置の前処理データを示す。

4．結論

SDI値が３以下の前処理油汚染海水を使用しての市販の８インチSWRO膜の性能評価により、膜の性能に影響がないことが判明した。これはこの実験で用いた前処理プロセスがきわめて有効であったことを示すものである。

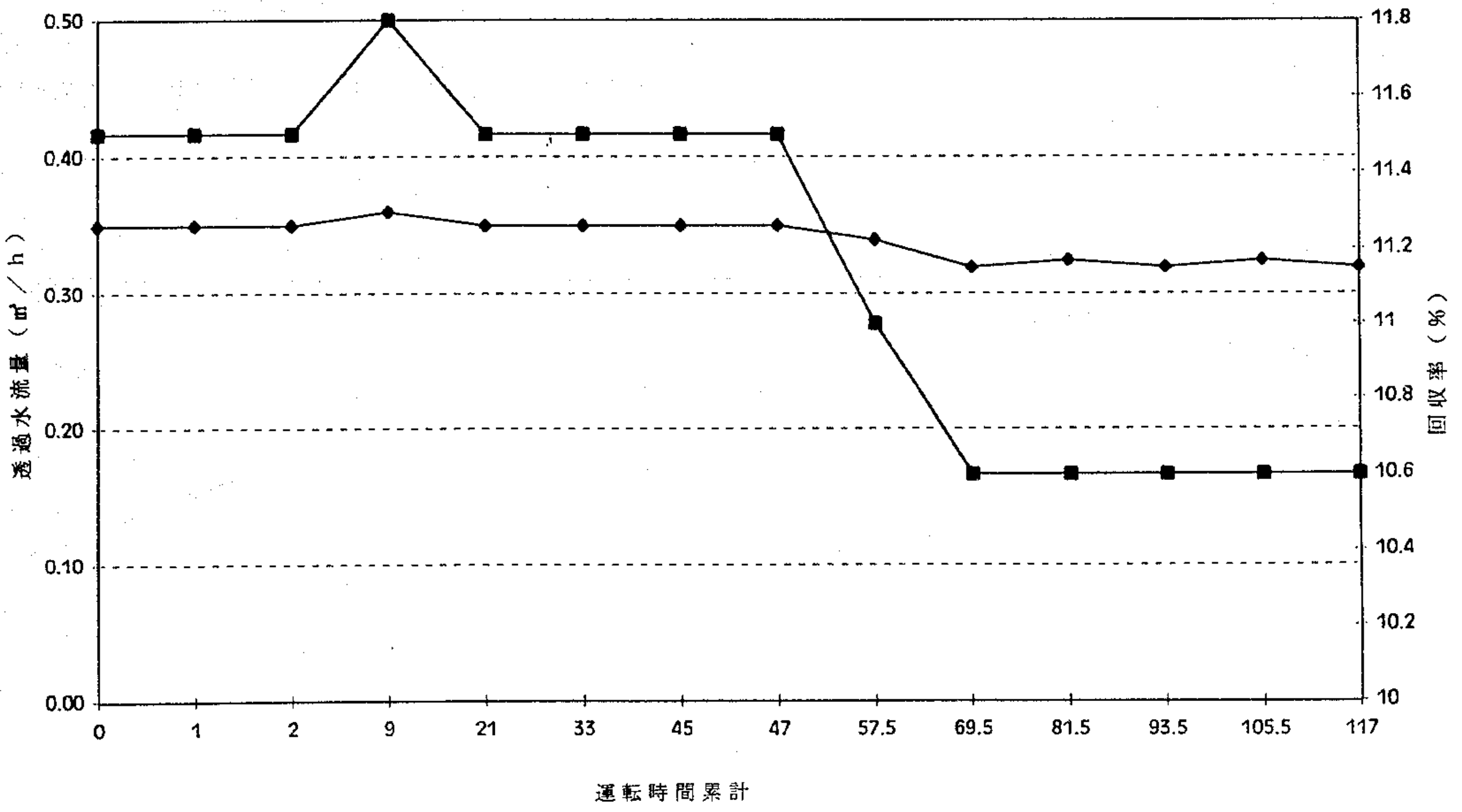

Fig.12　日東電工製ＲＯ膜の油濁耐性試験（運転時間と膜透過流量・回収率）

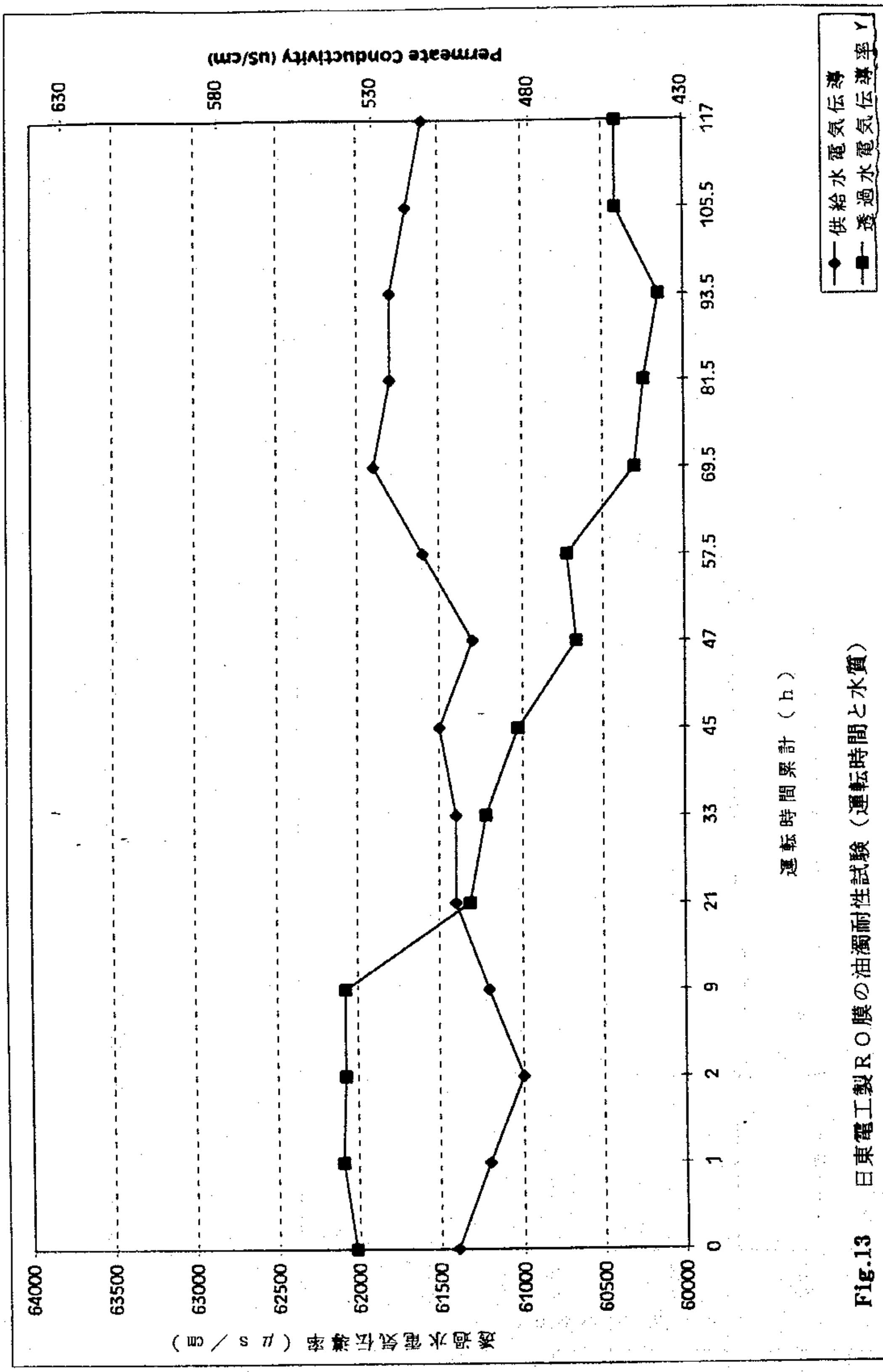

Fig.13 日東電工製ＲＯ膜の油濁耐性試験（運転時間と水質）

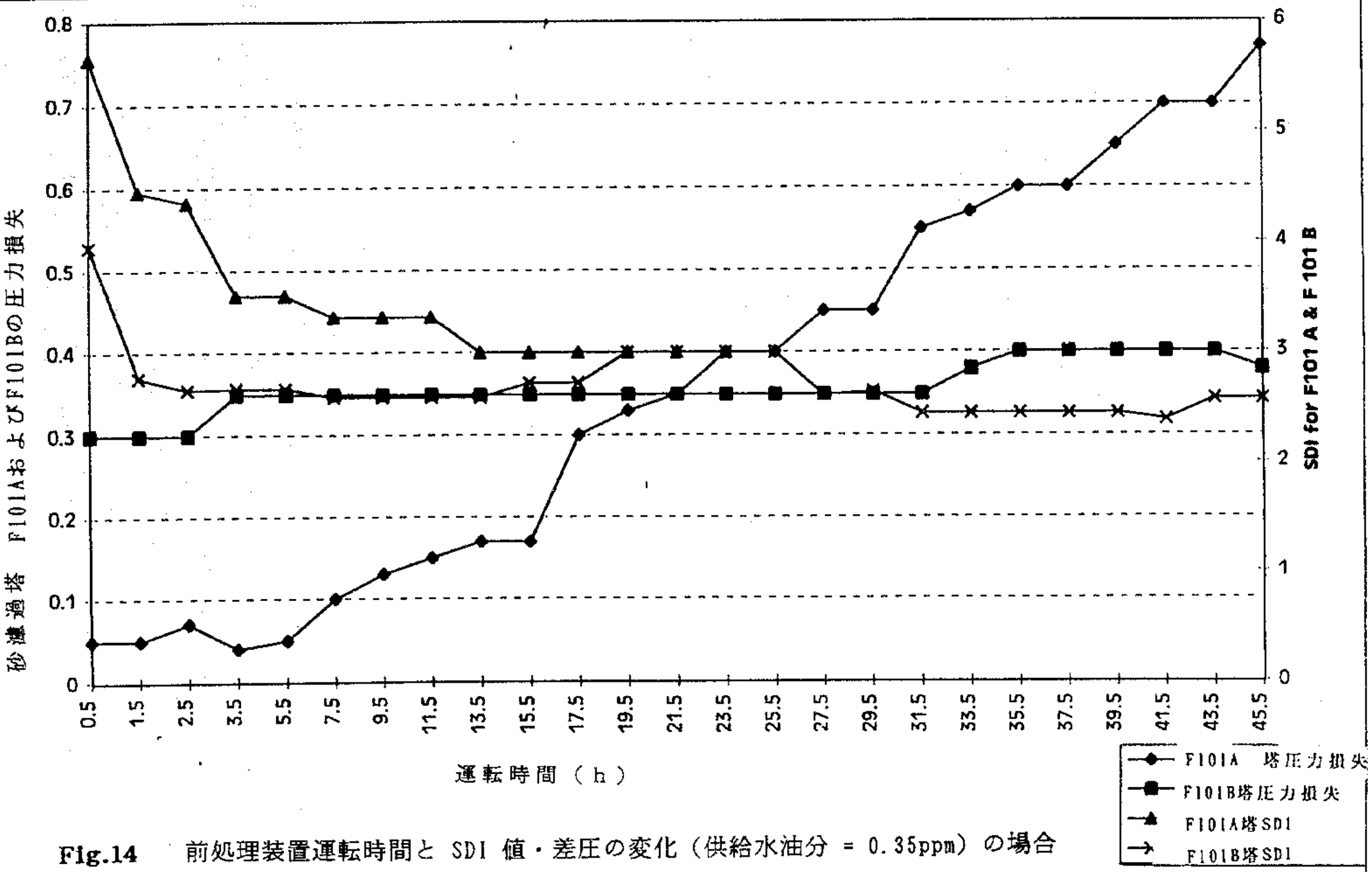

Fig.14　前処理装置運転時間と SDI 値・差圧の変化（供給水油分 = 0.35ppm）の場合

8.6 技術移転

1．方針

ROプロセスにおける油汚染対策研究に関して、JICAとSWCCの担当者が共同して研究を実施する過程を通じて、SWCCの研究者（特にSWCCの若い技術者）を対象として技術移転を実施をした。

2．技術移転の実施方法

本研究に関する主要技術を下記の技術要素に分解し、それらを対象として技術移転を行った。技術移転の方法としては主としてJICA/SWCCの両者による共同研究を実施することによるOJTトレーニングによると共に、実験報告書・マニュアルを作成する過程を通じてその定着を計ると共に、その技術を実体のある物として整備して、今後の活用に供した。

技術移転の対象とした主要技術要素

(1) 海水中の溶解性および非溶解性油分についての情報
(2) トリハロメタン等のハロゲン化合物についての情報
(3) RO膜淡水化の前処理技術
(4) 海水中の低濃度油の前処理
(5) 海水中の低濃度油の分析
(6) 前処理実験装置
(7) 油汚染の総合評価技術
(8) 分析機器
(9) 研究活動一般

3．技術移転の実施方法および成果

3.1 海水中の溶解性および非溶解性油分についての情報

収集した各種の情報について学習し、情報調査の結果選定され、追加供与された分析機器（蛍光光度計による海水中の油分分析法）の操作・機器管理技術についてOJTトレーニングを実施し、分析報告書を作成するとと共に、分析マニュアルを作成した。

3.2 トリハロメタン等のハロゲン化合物についての情報

収集した各種の情報について学習し、情報調査の結果選定された分析法に基づいて、OJTトレーニングによる分析を実施するとともに、分析報告書、分析マニュアルを作成して、技術を定着させた。

3.3 RO膜淡水化の前処理技術

テストプラントを協同で運転するOJTトレーニングを実施するとともに、運転報告書、

プラント操作マニュアルを作成して、技術を定着させた。

3.4 海水中の低濃度油の前処理

実験室規模の予備実験、次いでベンチスケールの実験装置による実験を協同で行うOJTトレーニングを実施するとともに、実験報告書、プラント操作マニュアルを作成する過程を通じてて、技術を定着させた。

3.5 海水中の低濃度油の分析

蛍光光度計による海水中の油分分析法の操作・機器管理技術についてOJTトレーニングを実施し、分析報告書を作成すると共に、分析マニュアルを作成した。

3.6 前処理実験装置

海水に人工的に混入させた油分を前処理装置で除去した海水を原水としたROテストプラントを協同で運転する OJTトレーニングを実施するとともに、実験報告書、プラント操作マニュアルを作成する過程を通じて、技術を定着させた。

3.7 油汚染海水の膜性能に与える影響

油汚染海水のRO膜の性能に及ぼす影響を調べる試験装置として、規模の異なる次の３種類の性能試験装置を供与して小規模から実用規模に至るまでの各段階の試験を実施する協同研究活動による、OJTトレーニングを行うとともに、報告書作成、マニュアルの作成等によって技術を移転した。

① 小規模試験装置の平膜試験装置

② 中規模試験装置のミニモジュール試験装置

③ 実プラントと同一寸法のROモジュール性能試験用ROテストプラント

実験室規模から実用規模までの一連の油汚染試験装置を用いて研究を協同で実施した結果それらの技術が定着し、油汚染対策の研究を実施できるようになった。

3.8 分析機器

次の分析装置を整備しそれらの装置の操作および保守管理技術の指導を行うと共にマニュアルを整備し、その定着を計った。

微小部Ｘ線分析装置

ICP発光分光システム

赤外分光光度計

Ｘ線回析装置

イオンクロマトグラフ

蛍光光度計

これらの装置を利用して、海水中の油分分析、水質分析、膜汚染物質の分析、汚染膜の分析等を実施できるようになった。

3.9 研究活動

情報の収集・解析、研究計画の立案、実験の実施、研究工程管理、実験結果の解析、報

告書の作成等を行う一連の研究活動をJICA/SWCC協同で実施する過程を通じて、OJTトレーニングを実施した。

9. 総　括

9. 総　括

前回の技術協力に引き続き、1992年3月より開始された本プロジェクトでは、サウディ・アラビア王国で必要とされる海水淡水化技術の開発テーマについて、SWCCおよびJICAの専門家が共同で研究を行った。またJICAは本プロジェクトに必要とされる追加機器および材料を SWCCに提供するとともにすでに供与されたMSFおよびROテストプラントならびに機器の整備、据付を行った。SWCCはJICA専門家が円滑にサウディ・アラビア王国内で研究活動を行えるよう事務所、宿舎、輸送、輸入税免除などの便宜供与を行った。さらにテストプラントの連続運転のための作業員およびユーティリティを提供した。上記のSWCCおよびJICAの協力により実施した研究テーマは蒸発法および逆浸透法各2テーマの合計4テーマである。

(1) MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究(MSF-1)
(2) MSF生産水の油汚染対策に関する研究(MSF-2)
(3) ハイブリッドシステム(MSF-RO)用のRO膜選択に関する研究(RO-1)
(4) ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究(RO-2)

以下、各研究テーマについて得られた成果の概要を述べる。

(1) MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究(MSF-1)

まず6種類の市販されているスケール防止剤の性能評価の基礎試験を行った。すなわち、アルジュベールPhaseⅡ MSFプラントに合わせた人工ブラインにスケール防止剤を種々の濃度で添加し、ブライン温度を95℃および110℃に保ち、残留M-アルカリ度の経時変化を測定した。そして残留M-アルカリ度を高く長く保つスケール防止剤ほどスケール防止能力の高いものとした。得られた結果は、実用プラントでの経験と一致し、ここで採用した基礎試験法がスケール防止剤の選択に有効であることが示された。

次に、より実際的条件下でのスケール防止剤の性能評価を行うため、循環型の伝熱管式熱交換器を用い、熱流束下でのスケーリング試験を行った。基礎試験の結果に基づき、性能の優れたスケール防止剤をブラインに添加し、伝熱管の総括伝熱係数の減少の少ないスケール防止剤ほど性能が優れているものとした。

上記の結果に基づき、20m^3/日のMSFテストプラントによるスケール防止剤の評価を行った。試験はスケール防止剤の単独添加ならびにスケール防止剤および酸の併用添加(hybrid)の2通りについて実施した。スケール防止剤にはPPN (M)が選定された。

スケール防止剤の性能は、伝熱管の総括伝熱係数の経時変化で判断した。また、総括伝熱係数の減少したところあるいは、汚れ係数が一定値になったところでボールクリーニングを

行い、その効果の試験も併せて行った。得られた結果の概要は次の通りである。

ブライン最高温度が112℃、濃縮度が1.2の場合、300時間まで総括伝熱係数の減少は少なかった。しかし、濃縮度が1.4になるとスケール析出による急激な汚れ係数の増加がみられた。この場合、ボールクリーニングは有効であった。ボールクリーニングは総括伝熱係数の減少が顕著になる前に行うのがよい。これは実用プラントでの今までの経験と一致する。

次にハイブリッドの場合について述べる。サウジアラビア王国ではQurayyahにあるSCECOのMSFプラント(4,000m^3/日×3基)でハイブリッド法を試験したことがあるので、現地調査を行った。その結果を参考にしてMSFテストプラントによる試験を実施した。

循環ブラインのpHは、スケール防止剤単独添加の場合の8.5に対し、8.0とした。またスケール防止剤の添加も単独の場合の2mg/Lに対し、1mg/Lとした。濃縮比1.2の連続運転では総括伝熱係数の減少は単独添加の場合と同程度であった。しかし、1.4にすると伝熱係数の急激な減少がみられ、その減少傾向は、単独添加の場合より大きかった。

以上、スケール防止剤の性能評価を実験室での基礎実験よりMSFテストプラントを用いる試験まで系統的に行う手法を確立した。

(2) MSF生産水の油汚染対策に関する研究(MSF-2)

本研究は、実験室での気液平衡データの取得、汚染物質のMSFプラント内での挙動に関するコンピューターシミュレーションおよびテストプラントによる汚染物質添加実験よりなる。

気液平衡データの取得については、汚染物質をブラインに可溶なもの（均一系）および不溶なもの（不均一系）に分け、前者をブロモホルム、後者をA重油で代表させた。まず、実験室での単蒸留試験で汚染物質の蒸発機構を研究した。その結果、不均一系は水蒸気蒸留で説明できることを見出し、蒸気圧を測定して文献値と合うことを確かめた。均一系はヘンリーの法則に従うことを見出し、ヘンリー常数を測定した。

次に気液平衡測定装置を用い、均一系の代表であるブロモホルムのヘンリー常数を測定した。ここで得られた値が単蒸留で間接的に求めた値と一致することから、単蒸留の値の信頼性が確認された。

以上の蒸発機構および物理および化学常数に基づき水および汚染物質の挙動をシミュレートするコンピュータープログラムを作成した。

一方、テストプラントに汚染物質の添加ラインおよび必要な試料採取のための試料採取ラインを取り付けた。ついで均一系の代表としてブロモホルムを取り上げ、テストプラントの補給海水に0.5mg/Lおよび2.75mg/L添加して、ブロモホルムの挙動を観察した。その結果、水の挙動はコンピューターシミュレーションの計算とよく一致することが判明した。しかし、ブロモホルムについては、ほとんどがエジェクターを介して系外に排出されることが見出された。これは水が凝縮する条件下ではブロモホルムの凝縮速度がおそく非凝縮性ガスの性質を示すためであると推察される。

不均一系の代表としてLight Diesel Oil No. 2を10mg/Lおよび2.5mg/L添加した時もブロモホルムと同様な傾向が見出された。従って汚染物質については、平衡論的観点ばかりでなく、速度論的観点からの取り組みが必要であることが判明した。また、生産水の汚染対策としては、脱気塔を含めたベントシステムの能力アップと蒸発室内でのジオメトリーの検討が有効であろうと考えられる。これらは、さらに確認のための実験が必要である。

(3) ハイブリッドシステム（MSF-RO）用のRO膜選定に関する研究（RO-1）

はじめに、ハイブリッドシステム（MSF-RO）用のRO膜としてどのような性能の膜が適しているかを把握するための調査を行った。

まずサウディ・アラビア海域の海水を原水としたROプラントによるハイブリッドシステムのコンピュータシュミレーションを行った結果、ROとMSFの生産水の混合比を１：1.5とすることが可能であることが判明した。

ついでSWCC/JICAチームが合同でSWCCのROプラント（Jeddah, Umm Lajj,Dubaおよび Haql）を訪問した際、実プラントの膜分析用サンプルを入手し、膜洗浄薬品の選定試験で付着鉄分の除去に蓚酸洗浄が効果のあることを見出した。また中空糸RO膜およびスパイラルRO膜を解体し、点検調査した。

これらの研究の結果、今後膜劣化が生じた場合でも、その原因解明に必要な種々の分析機器を駆使できる体制がSWCCに作られた。

次にRO膜の基礎研究として一般に実施されているステップを踏んでRO膜の耐久試験を行った。すなわち最初に平膜で膜素材に関する耐塩素性、耐濁質性の試験を行い、その結果に基づいてミニモジュール試験を行った。

その結果、耐塩素性試験では0.3ppmの塩素濃度でわずかに劣化が認められる程度であった。しかし、さらに長時間の運転で耐久性を確認する必要があると考えられる。また耐濁質性試験では凝集二層ろ過装置で前処理すればRO膜は安定に運転できることを確認できた。

次にこれらの結果を踏まえて実用規模の膜モジュールを用いたROテストプラント試験を行った。最初に凝集二層ろ過方式の海水前処理装置（168m^3/日）を用いて塩化第二鉄を凝集剤とし、Feとして１～1.3ppm添加することによりSDI値４以下の清浄な海水が得られることを見出した。SDI値４以下の海水はRO膜装置への供給海水の許容値を満足するものであり、凝集二層ろ過方式の海水前処理装置の連続運転により安定してこの許容値を保持できることを実証した。

ついで現在実用化されている日本製の３種の大型RO膜モジュール（日東電工，東洋紡および東レ）を用いて上記の前処理装置で得られた海水を通水して運転圧力56kg/cm^2で運転した結果,導電率250～750μS/cmの膜透過水が安定して得られることが判明した。

実プラントを想定した場合には、長期間にわたる安定性を保証する事が重要であるため、本共同研究で確立された各種試験方法を活用して、長期間にわたる膜および生産水水質の安

定性を保証するための試験を行う事が推奨される。

(4) ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究 (RO-2)

海水中に油分が混入しても海水淡水化装置が安全に運転できる方法を確立するための実験研究を行った。

最初に基礎実験として海水中の微量油分ならびにトリハロメタンの分析定量法の検討を行い蛍光分光およびGC－MS法により精度よく測定できる方法を確立した。次いで小型の平膜試験装置を用いた浸漬試験等によりRO膜の耐油性試験を行い、その結果を踏まえてミニモジュール試験へと展開したが、予想通り耐油性試験のためには油分除去の前処理装置とRO膜とを組み合わせた連続運転が重要であることが判明した。

そこで、油濁模擬海水の製造および凝集ろ過装置を設置して運転研究を行った。所定濃度の油濁模擬海水を再現性良く調整する方法を確立し、その油濁模擬海水を用いて実験を行い、塩化第二鉄を凝集材として砂ろ過する前処理システムによりRO膜に通水可能なレベルまで油分を除去できることを確認した。なお、ろ材として高分子ろ材、アンスラサイトも使用できることが判明した。

本前処理システムではほとんどの油分が除去され、残存油分濃度はわずかに0.5ppm前後であった。この油分ろ過海水を実用化規模の８インチRO膜モジュール装置に通水した結果によると残存油分はRO膜により殆ど除去でき、しかも膜性能も安定であることが判った。

本研究の結果、この凝集ろ過前処理法は、上記油分濃度範囲には適した油分除去法であり、RO膜性能への影響も無いと結論される。

油濁海水の油分除去用前処理システムと８インチRO膜モジュール装置を連結して連続運転を行う手法が確立されたので、今後はこのシステムの安定性を確認する必要がある。

以上、述べたように4テーマについては、ほぼ所期の目的を達することができた。
しかし、限られた研究期間では、経年劣化や長期間の操業安定性を保証するデータの蓄積は物理的に不可能であった。そのような長期運転を要するものについては、本研究で確立された手法を適用して、SWCC自身でデータの蓄積を行う事が可能となったので、今後の進展に期待したい。

本プロジェクトで取り上げた研究課題は、いずれも今日的なものであり、研究はSWCCおよびJICAの専門家の密接な協力の下で基礎から応用まで系統的かつ組織的に行われた。従って、得られた成果は、世界的に注目すべきものである。さらに、従来の研究の多くがメーカーの視点から行われたものであったのに対し、ユーザーの視点、すなわち既存プラントの効率的運用、評価、環境問題解決の立場からなされたことも特記すべきである。得られた成果を第１歩として、更なる発展を期待したい。

JICA